

И. П. Вопнярский

О «СЖАТОЙ» ГЛУБИНЕ У ВОДОСЛИВА ПРИ ЗАТОПЛЕННОМ ПОДПЕРТОМ ПРЫЖКЕ

Глубина в «сжатом» сечении транзитной струи, сошедшей с водослива, является важным элементом, определяющим параметры потока в нижнем бьефе. В случае затопленного положения подпертого гидравлического прыжка, достигаемого устройством водобойного колодца (рис. 1), транзитная струя втекает в область потока, над которой находится часть поверхностного вальца прыжка. В этой области скорости в струе уменьшаются, что должно приводить к увеличению глубины в «сжатом»

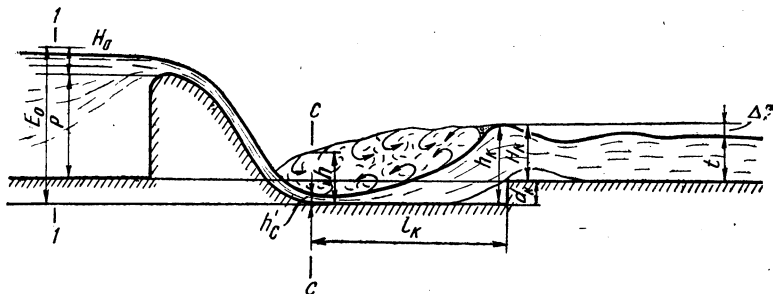


Рис. 1. Схема образования подпертого прыжка в водобойном колодце.

сечении потока у водослива. Как отмечает Е. А. Замарин [1], «движение струи в воде связано со значительно большими затратами энергии, чем при движении ее в воздухе, а так как падающая струя находится в состоянии бурного потока, то потери энергии должны вызывать расширение, а не сжатие струи». Таким образом, при пропуске одного и того же расхода воды через водослив постоянной (со стороны нижнего бьефа) высоты вместо глубины h_c , имевшей место в «сжатом» сечении при отогнанном прыжке или прыжке в критическом положении, в случае затопленного прыжка транзитный поток в сечении C—C будет иметь глубину $h'_c > h_c$ (см. рис. 1).¹

В наших опытах с подпертым гидравлическим прыжком в водобойных колодцах различной длины и глубины [2, 3] исследовался вопрос о влиянии степени затопления прыжка на изменение глубины потока в «сжатом» сечении у водослива h'_c .

Степень затопления подпертого прыжка в колодце определялась по соотношению $\sigma = \frac{h_K}{h_{2п}}$, где h_K — изменяемая (в зависимости от Fr_c, d_K, t) глубина потока перед выходной стенкой водобойного колодца при за-

¹ Здесь не рассматривается изменение глубины в «сжатом» сечении, связанное с устройством водобойного колодца и соответственным увеличением удельной энергии потока перед водосливом E_0 .

топленном прыжке (см. рис. 1), $h_{2п}$ — глубина в конце поверхностного вальца прыжка при его критическом положении в колодце (вторая сопряженная глубина подпертого прыжка). В связи с «подпирающим» влиянием выходной стенки колодца $h_{2п} < h_2$, где h_2 — вторая сопряженная глубина свободного прыжка [3].

Невозможность непосредственного (прямого) замера глубины потока h'_c в «сжатом» сечении транзитной струи, втекающей под поверхностный валец прыжка, обусловила применение косвенных методов ее определения. Глубина h'_c определялась двумя способами: по эпюре осредненных скоростей и по уравнению Бернулли.¹

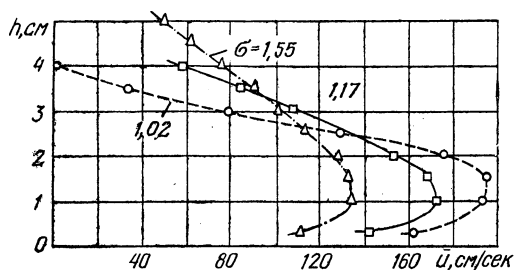


Рис. 2. Эпюры осредненных скоростей в «сжатом» сечении при различной степени затопления прыжка в колодце σ .

Как видно, скорости транзитной струи в затопленном прыжке распределяются по кривой, имеющей максимум. Следует отметить положительное влияние увеличения степени затопления прыжка в колодце, проявляющееся как в уменьшении максимума скорости транзитной струи, так и в сокращении донных скоростей. Кроме того, для этих эпюр характерно наличие точки перегиба, делящей огибающую векторов скоростей (выше максимума скорости транзитного потока) на две части (одну — в пределах транзитного потока, имеющую выпуклость кверху, другую — в области поверхностного вальца выпуклостью книзу). Наличие точки перегиба на эпюре свидетельствует о разных (в связи с различной структурой потока) законах распределения осредненных скоростей по сечению транзитной струи и поверхностного вальца гидравлического прыжка.

В работе А. Н. Рахманова [4] приводятся эпюры осредненных скоростей в ряде сечений гидравлического прыжка, на которых ясно видна точка перегиба эпюры, разделяющая транзитную струю и поверхностный валец.

Принимая точку перегиба эпюры осредненных скоростей за верхнюю границу транзитного потока, можно определить глубину h'_c как вертикальное расстояние от точки перегиба эпюры до оси абсцисс. Сравнение величины расхода, подсчитанного известным путем, исходя из эпюры осредненных скоростей при глубине транзитного потока h'_c , с расходом воды, замеренным на мерном водосливе, показало, что относительная ошибка невелика и не превышает $\pm 3\%$.

П. М. Степанов [5] также определял h'_c , исходя из эпюры осредненных скоростей, «путем вычитания площади эпюр обратного потока из

¹ Методика определения h'_c была выработана в результате проведения специальных опытов с затопленным гидравлическим прыжком (без водобойного колодца), степень затопления которого регулировалась изменением глубины в нижнем бьефе t .

соответствующих площадей прямого потока», что является более трудоемким и, по-видимому, не обеспечивает большей точности, чем в наших опытах.

Кроме указанного метода, исследовалась возможность определения «сжатой» глубины транзитного потока h'_c по уравнению Бернулли. Исходя из уравнения Бернулли для сечения 1—1 и С—С относительно горизонтального дна лотка (см. рис. 1) с обычно принятыми допущениями (в сечении С—С давление распределяется по гидростатическому закону, средняя скорость $v_c = \frac{q}{h'_c}$, коэффициент Кариолиса $\alpha = 1,0$), получаем

$$h'_c = \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(E_0 - h)}}, \quad (1)$$

где h — глубина потока в сечении С—С, включая транзитный поток и зону вальца, определенная в опыте при помощи мерной иглы (с точностью до 0,5 см); φ — коэффициент скорости, вычисленный по уравнению Бернулли при отогнанном прыжке и измеренной в опыте глубине h_c .

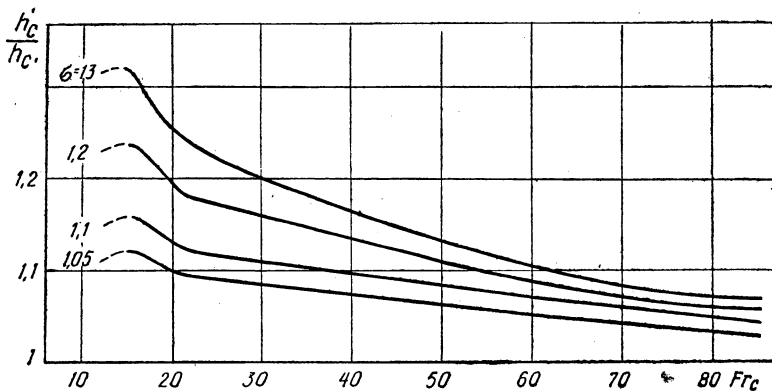


Рис. 3. Изменение отношения $\frac{h'_c}{h_c}$ в зависимости от Frc и σ .

Необходимо отметить, что коэффициент скорости φ , учитывающий сопротивление движению воды по водосливной грани до «сжатого» сечения, в случае затопленного прыжка будет меньше, чем при отогнанном прыжке, так как на некоторой (весьма малой) части водосливной поверхности транзитная струя испытывает большее сопротивление, втекая под поверхностный валец прыжка. Но это уменьшение φ весьма незначительно, и им при расчетах пренебрегалось.

Глубина h'_c , подсчитанная по (1) с использованием необходимых опытных данных (q , F_0 , φ , h), незначительно (не более 2,5%) отличается от глубины h_c , определенной из эпюры осредненных скоростей. При этом следует отметить, что некоторое изменение глубины всего потока h в «сжатом» сечении у водослива (для малых Frc на 0,5 см, а для больших, например для $Frc = 85,8$, до 1,0 см) практически не сказывается на величине h'_c (с точностью до 0,01—0,02 см). Это свидетельствует о возможности допущения неизбежной (в связи с пульсацией свободной поверхности) ошибки в опытном определении h при помощи мерной иглы и объясняет принятую в опытах и указанную выше точность измерения h (до 0,5 см).

Рис. 3, на котором отсутствуют опытные точки, а даны обобщающие их линии, иллюстрирует изменение отношения $\frac{h'_c}{h_c} = f(Fr_c, \sigma)$, где h'_c определялось по (1). Для всего опытного диапазона $Fr_c = 12,3 - 85,8$ с возрастанием степени затопления σ увеличивается глубина транзитного потока в «сжатом» сечении h'_c по сравнению с h_c при отогнанном прыжке. Для малых Fr_c это увеличение происходит в большей степени, чем для больших Fr_c , что является вполне закономерным, так как поток с большим числом Фруда обладает большей кинетичностью струи в «сжатом» сечении и, следовательно, меньшей «чувствительностью» к влиянию затопления.

Из анализа опытных данных (см. рис. 3) следует, что при степени затопления $\sigma = 1,05$ увеличение глубины в «сжатом» сечении для подпертого прыжка в колодце в диапазоне опытных чисел Фруда незначительно и в среднем меньше 10% (достигая 12% при $Fr_c = 15,6$ и 3% при $Fr_c = 85,8$). Поэтому при практических расчетах этим увеличением глубины в «сжатом» сечении можно пренебречь, тем более, что оно вызывает уменьшение Fr_c и ведет к некоторому запасу в расчетах, так как в действительности в колодец будет поступать поток с меньшим Fr_c и тем же расходом, тогда как размеры колодца рассчитаны при несколько большем Fr_c .

Выводы

1. Глубину h'_c в «сжатом» сечении транзитной струи у водослива при затопленном положении прыжка в колодце возможно определять по эпюре осредненных скоростей или по уравнению Бернулли.
2. Незначительным увеличением глубины в «сжатом» сечении для степени затопления $\sigma = 1,05$ в практических расчетах можно пренебречь.

Литература

1. Е. А. Замарин. Проектирование гидротехнических сооружений. М., 1954.
2. И. П. Вопнярский. О длине подпертого прыжка в водобойном колодце. «Изв. вузов СССР. Энергетика». 1965, № 2.
3. И. П. Вопнярский. К определению размеров подпертого прыжка и расчет глубины водобойного колодца. Сб. «Материалы республиканского научно-технического совещания по изучению, комплексному использованию и охране водных ресурсов». Вып. 6. Минск, 1965.
4. А. Н. Рахманов. Очертание поверхностного водоворота и транзитного потока и некоторые скоростные характеристики донного гидравлического прыжка. Изв. ВНИИГ, т. 59, 1958.
5. П. М. Степанов. Установление некоторых параметров затопленной транзитной струи и их использование при гидравлических расчетах. «Изв. вузов СССР. Энергетика», 1961, № 12.